ISTRAŽIVANJA PROIZVODNJE ŽELJEZA U PODRAVINI: METODOLOŠKI PRISTUPI, TEHNOLOŠKA OBILJEŽJA I IZVORI SIROVINE

RESEARCH ON IRON PRODUCTION IN PODRAVINA: METHODOLOGICAL APPROACHES, TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS, AND RAW MATERIAL SOURCES

Tajana SEKELJ IVANČAN
Tena KARAVIDOVIĆ
Institut za arheologiju
Jurjevska 15
10000 Zagreb, Republika Hrvatska

Received / Primljeno: 23. 4. 2026.
Accepted / Prihvaćeno: 30. 5. 2026.
Original scientific paper / Izvorni znanstveni rad
UDK / UDC: [553.31+622] (497.525)"03/08"(091)
[669.162.12:902] (497.525Podravina)

SAŽETAK

Rad donosi pregled dosadašnjih istraživanja proizvodnje željeza u Podravini u kasnoj antici i ranom srednjem vijeku, s naglaskom na metodološke pristupe, tehnološka obilježja proizvodnje na temelju arheološkog terenskog zapisa i podrijetlo sirovine. Istraživanja su obuhvatila terenske površinske preglede, geofizičke prospekcije, ciljana arheološka iskopavanja te geoarheološke, geokemijske i mineraloške analize. Na temelju površinskih nalaza zgure, ulomaka glinenih stijenki peći i keramičkih sapnica prepoznat je velik broj lokaliteta povezanih s proizvodnjom i primarnom obradom željeza, dok su geofizička istraživanja omogućila preciznije lociranje podpovršinskih ostataka peći i metalurškog otpada. Arheološki nalazi s lokaliteta Virje – Volarski breg, Sušine te Hlebine – Velike Hlebine pokazali su da se željezo proizvodilo postupkom izravne redukcije u manjim talioničkim pećima, uz dokaze i o postredukcijskoj obradi poluproizvoda. Posebno važan rezultat istraživanja odnosi se na potvrdu lokalnog podrijetla sirovine, odnosno iskorištavanja močvarne željezne rude. Povezivanjem arheologije krajolika, arheometalurgije i geoarheologije rad pruža uvid u tehnološke, gospodarske i okolišne aspekte željezarstva u Podravini.

Ključne riječi: Podravina, terenski površinski pregled, talioničke peći, željezo, zgura, sapnice, taljenje, kovanje, željezna ruda, geoarheologija, arheometalurgija

Key words: Podravina, field survey, smelting furnaces, iron, slag, tuyères, smelting, forging, iron ore, geoarchaeology, archaeometallurgy

UVOD

Posljednjih 15 godina istraživanja arheološka saznanja o proizvodnji željeza na prostoru Podravine u značajnoj su mjeri proširila spoznaje o gospodarstvu i prirodnim (pred)uvjetima na ovom prostoru tijekom kasne antike i ranoga srednjeg vijeka. Istraživanja su provedena sustavno te su obuhvaćala niz istraživačkih pristupa, uključujući rad multidisciplinarnog tima znanstvenika, čime su dodatno proširene spoznaje u kontekstu kulturnog krajolika kasne antike i ranoga srednjeg vijeka, arheologije krajolika i arheometalurgije željeza.

Istraživački pristup inicijalno je podrazumijevao primjenu nedestruktivnih arheoloških metoda (terenski pregled, geofizička istraživanja), sustavna arheološka iskopavanja pojedinih lokaliteta te obradu pronađenih nalaza. Nakon što je ustanovljen niz arheoloških lokaliteta povezanih s proizvodnjom i/ili obradom željeza, istraživački fokus proširen je i na interdisciplinarna istraživanja krajolika, ponajprije na pitanje izvora sirovine – željezne rude.

U okviru tih istraživanja utvrđena je, do tada nepoznata, mogućnost formiranja močvarnih željeznih ruda na području Podravine, koje su ujedno bile iskorištavane tijekom kasne antike i ranoga srednjeg vijeka za proizvodnju željeza. Dosadašnja istraživanja snažno povezuju više arheoloških subdisciplina – arheometalurgiju željeza, geoarheologiju i arheologiju krajolika – te otvaraju pitanja odnosa tehnološke evolucije i socioekonomskih prilika na ovom prostoru u promatranom razdoblju.

Unatoč velikoj količini podataka o proizvodnji željeza u Podravini prikupljenih primjenom različitih metoda, u fokusu ovoga rada nalazi se pregled nedestruktivnih istraživačkih metoda i njihova doprinosa, kao i osnovna obilježja tehnologije proizvodnje željeza temeljena na primarnim arheološkim istraživanjima – arheološkom terenskom zapisu istraženih struktura. Poseban naglasak stavljen je na arheološki *in situ* zapis talioničkih peći na lokalitetima Hlebine – Velike Hlebine i Virje – Volarski breg (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021), kao i na geoarheološku komponentu, odnosno procese identifikacije osnovne sirovine – močvarne željezne rude u nizinskom krajoliku (Gornje) Podravine.

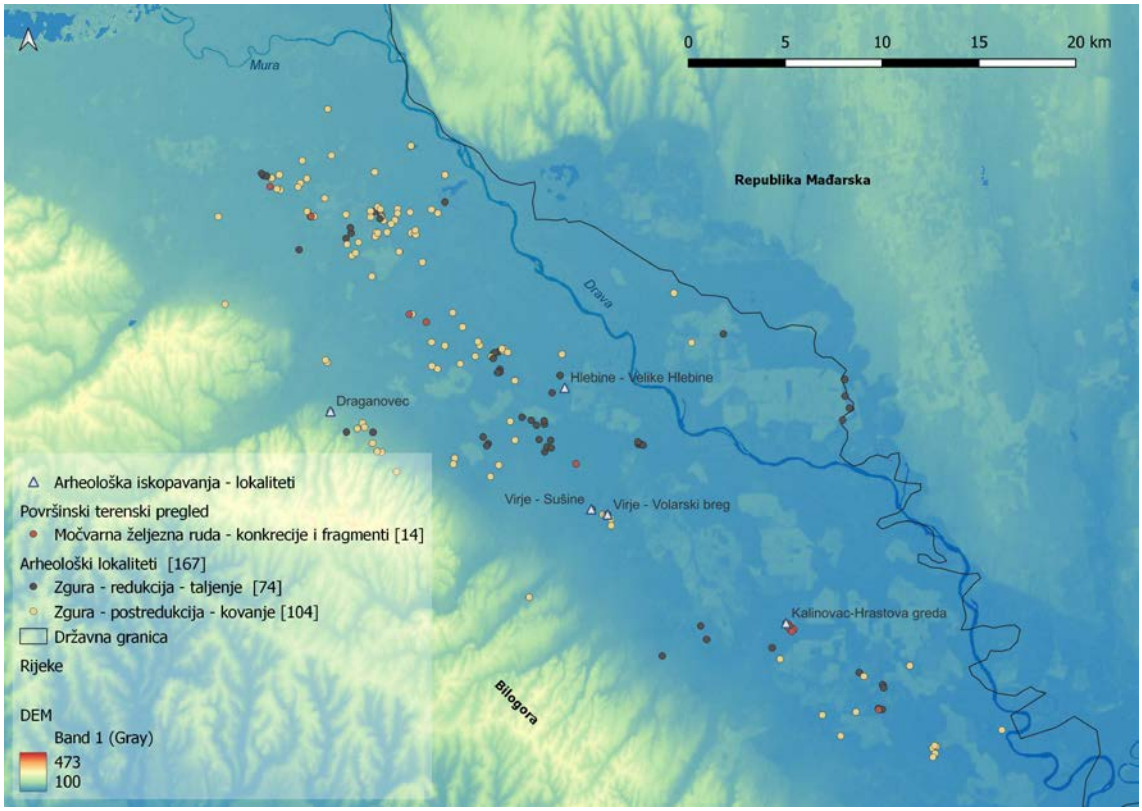
Cilj rada jest pružiti sveobuhvatan pregled dosadašnjih istraživanja i njihova doprinosa te definirati tehnološku komponentu proizvodnje željeza u ranom srednjem vijeku na ovom prostoru.

OD POVRŠINSKOG NALAZA DO PODPOVRŠINSKOG ARHEOLOŠKOG ZAPISA – METODOLOŠKI PRISTUP

Tijek istraživanja proizvodnje željeza u Podravini započinje, kao i često u arheologiji, s pronalaskom površinskih nalaza koji upućuju na određeni karakter arheološkog nalazišta, u konkretnom slučaju o površinskim nalazima željezne zgure i većih komada stijenki glinenih peći, kao i ulomaka keramičkih sapnica (Alečković 1996a; 1996b). Upravo su ulomci sapnica, pronađeni davne 1994. g. na položaju Velike Hlebine smještenom oko 1,5 km istočno od Hlebina, a koji su ukazivali da se na ovom prostoru odvijala jedna specifična gospodarska djelatnost (Sekelj Ivančan 2001: 22, 101–102, Map. 12, Fig. 48–49), bili zapamćeni kao nalazi na koje se u budućnosti valja vratiti i istražiti lokalitet s kojeg potječu. No, prije nego se dogodilo samo istraživanje Velikih Hlebina, na svjetlo su dana 2007. godine dospjeli novi površinski nalazi na lokalitetu u okolici Virja, nakon prvog zaoravanja livada podno blagog uzvišenja Volarski breg (Sekelj Ivančan 2007: 73–79). Radilo se o istovjetnim površinskim nalazima koji su ukazivali da se i ovdje odvijala ista gospodarska djelatnost kao i na lokalitetu Velike Hlebine. Nakon probnih arheoloških iskopavanja provedenih 2008. godine na Volarskom bregu (Sekelj Ivančan 2009; 2014: 158–166), sustavna su istraživanja proizvodnje željeza u Podravini započela 2010. godine i odvijaju se u kontinuitetu obuhvaćajući različite pristupe i metode istraživanja, prije svega kroz zaštitna arheološka iskopavanja financirana od strane Ministarstva kulture i medija RH, ali i dva znanstveno istraživačka projekta financirana kroz Hrvatsku zakladu za znanost (akronima TransFER i KulturFER).[1] Provedena terenska istraživanja su paralelno obuhvaćala nedestruktivna istraživanja - intenzivnije površinske terenske preglede područja Gornje Podravine, od granice s Međimurjem na sjeverozapadu pa sve do dijela Podravine koji graniči s dijelom Slavonije na jugoistoku, zatim primjenu geofizičkih istraživanja nad prostornim arealom određenih prepoznatih lokacija te u konačnici i arheološka iskopavanja ciljano odabranih površina. Naime, provedenim površinskim pregledom, uz lokalitete u okolici Virja i Hlebina (Sekelj Ivančan 2016), prepoznat je niz položaja s površinskim arheološkim nalazima koji upućuju na lokalitete na kojima se odvijala gospodarska djelatnost povezana s proizvodnjom željeza (Valent et al. 2017; 2018; 2019; 2021; Valent 2018). Ukupno je evidentirano oko 167 lokacija na kojima su utvrđeni tragovi proizvodnje željeznih poluproizvoda i/ili njihove prerade. Većina tih lokaliteta smještena je na drugoj dravskoj terasi, donekle udaljenoj od hirovite Drave (sl. 1).

Geofizičke metode nedestruktivnog istraživanja primijenjene su na nekolicini lokaliteta, s ciljem prepoznavanja obuhvata arheološkog podpovršinskog zapisa i detaljnije interpretacije potencijalnih položaja peći te željezarskog otpada (Mušič, Horn 2021). Primijenjena je metoda magnetske prospekcije pomoću koje se ispod površine detektiraju tvorevine s jakim termoreminentnim tipom magnetiza-

[1] Projekti Hrvatske zaklade za znanost akronima TransFER http://transfer.iarh.hr/index.php/hr/ i KulturFER https://kulturfer.iarh.hr/index.php/hr/ obuhvaćaju dva ciklusa od po četiri godine financiranja (pristupljeno 23. siječnja 2026.).



Slika 1. Karta (Gornje) Podravine s ucrtanim položajima arheoloških lokaliteta i nalaza razvojnih faza močvarne željezne rude (podloga: NASA JPL 2013, izradila T. Karavidović)

cije, koja se očituje u arheološkom zapisu, strukturama i tvorevinama koje nastaju pod utjecajem visoke temperature, poput struktura peći, ognjišta, vatrišta. U korelaciji s magnetskim susceptibilitetom, koji mjeri površinsku zasićenost mineralima željeza, dobiveni su rezultati na kojima su se jasno očitovale tvorevine karakteristične za tip lokaliteta na kojemu se odvijala proizvodnja i/ili obrada željeza. Primjena ovih dviju geofizičkih metoda pokazala se najsvrsishodnija na ovom tipu lokaliteta, a na temelju čijih rezultata su potom planirana ciljana arheološka iskopavanja (Sekelj Ivančan, Mušič 2014: 179; Mušić et al. 2021). Arheološka iskopavanja provedena su na više lokacija, na kojima su otvorene sonde čiji je prostorni areal obuhvaćao cjelovit (lokacija Hlebine – Velike Hlebine) ili djelomičan prostor na kojemu je pretpostavljen potpovršinski zapis (lokacije Virje – Volarski breg i Sušine te Hlebine – Dedanovice, Kalinovac – Hrastova greda) povezan s metalurškim ostacima.

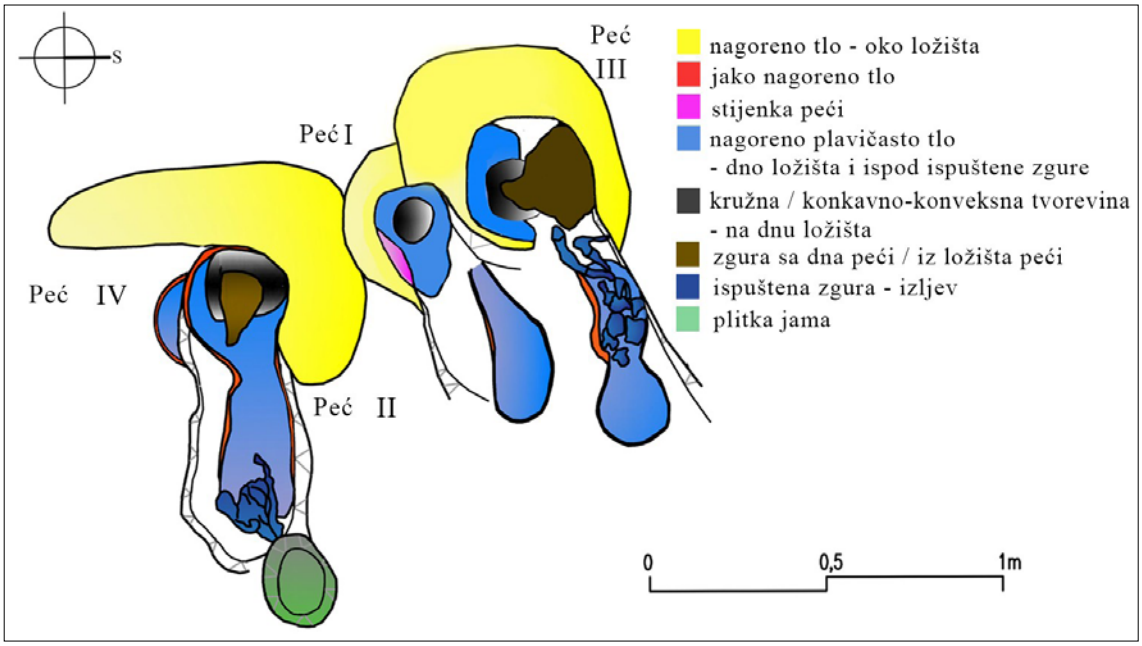
TEHNOLOŠKI ASPEKTI PROIZVODNJE ŽELJEZA - PROCESI PROIZVODNJE I OBRADE

Trenutačno stanje istraživanja ukazuje na to da se proizvodnja željeza na području Podravine odvijala u kasnoantičkom i ranosrednjovjekovnom razdoblju: krajem 4. i u 5. stoljeću (lokacija Virje – Sušine, sonde 5 i 7), od 5. do sredine 6. stoljeća te od druge polovice 6. do početka 7. stoljeća (Virje – Volarski breg, sonde 2a i 3), zatim od druge polovice do kraja 6. stoljeća i u drugoj polovici 7. stoljeća (Hlebine – Velike Hlebine, Virje – Sušine, sonde 5 i 7), kao i krajem 7. i u 8. stoljeću te u prvoj polovici 9. stoljeća (Virje – Sušine, sonde 7 i 8, Virje – Volarski breg, sonda 1, Draganovec) (Botić 2021; Sekelj Ivančan, Karavidović 2021; Karavidović, Valent 2023). Raniji tragovi nisu sa sigurnošću definirani, iako postoje naznake obrade željeznih poluproizvoda, a potencijalno i primarne proizvodnje željeza u ranijem, antičkom razdoblju; međutim, na temelju dosadašnjih istraživanja (Valent 2021) nije ih moguće pouzdano potvrditi.

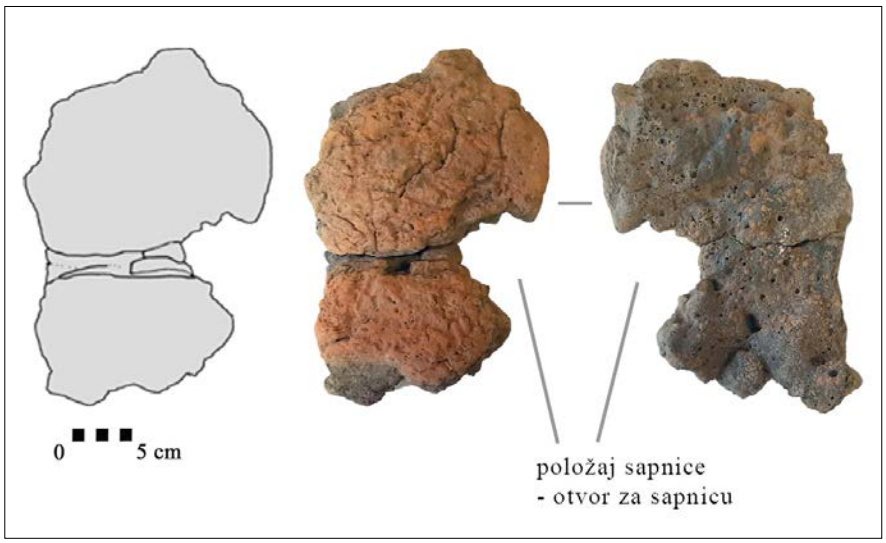
Tehnologija proizvodnje željeza u ovim razdobljima podrazumijevala je izravni proces redukcije, u kojemu nastaje spužvasto željezo, porozni konglomerat željeza i zgure, poluproizvod namijenjen daljnjoj obradi kroz postredukcijske postupke, definirane kao primarno (kompaktiranje i pročišćavanje) i sekundarno (oblikovanje) kovanje (Pleiner 2000). Reduktivna atmosfera u oknu peći postizala se sagorijevanjem drvenog ugljena. Na istraženim lokalitetima koji pripadaju razdoblju od druge polovice 6. stoljeća do 7. stoljeća te od 8. do početka 9. stoljeća (Hlebine - Velike Hlebine i Virje – Volarski breg, Sušine) definirani su ostaci talioničkih peći i/ili cjeloviti nalazi zgure iz talioničkog postupka, zabilježeni djelomično *in situ* u arheološkom terenskom zapisu kao odraz pojedinačnog, posljednjeg redukcijskog postupka (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021), uz prisutnost otpada iz višestrukih postupaka na lokalitetima. Na ostalim lokalitetima arheološki terenski zapis nije pružio podatke o pećima sačuvanima *in situ*, no nalaz brojnih ostataka tehnološkog otpada (željezne zgure) i tehničke keramike (glinenih stijenki peći) upućuje na prisutnost višestrukih postupaka primarne proizvodnje željeza (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021).

Talioničke peći – studije slučaja arheološkog terenskoga zapisa

Arheološki terenski zapis istraženih dviju peći na položaju Velike Hlebine ukazuje da su bile smještene na blagoj padini, položene u smjeru zapad-istok, jedna do druge. Prostor na kojem su pronađene peći (Sonda 1) prvotno se očitovao kao veća tvorevina četvrtasta oblika tlocrta tamnosivo-crne boje zemlje zasićena s ulomcima talioničke zgure i komadima glinenih stijenki peći. Ostaci ognjišta dviju peći, uočeni u potonjem sloju bili su sačuvani kao narančasto zapečeno tlo kružnog tlocrta koje je okruživalo plitko ukopanu jamicu - ložište peći, unutrašnjeg promjera između 26 i 30 cm (sl. 2). Oba ložišta su bila otvorena prema istočnoj strani užim kanalićem, ka plitkoj izduženoj jamici. Kod ovih peći (Peć II i III) sačuvana je i gotovo cjelovita zgura *in situ*, trag nekog posljednjeg talioničkog postupka. Zgura koja se pripisuje jednom taljenju u ovim pećima može se okarakterizirati kao: 1) zgura s dna ložišta talioničke peći, konkavno-konveksnog presjeka pri čijem je dnu zalijepljen trag zapečenog pjeskovitog tla u koji je ložište peći bilo ukopano; 2) nakupine nataložene zgure iz unutrašnjosti peći, nepravilne površinske strukture, koje se nalaze nad zgurom s dna peći, unutar ložišta; 3) ispuštena zgura (izljev) pronađena izvan ložišta peći, glatke površinske strukture s vidljivim znakovima otjecanja. Ispod zgure, trag njezina pozicioniranja i izlijevanja iz ognjišta, prepoznat je kao plavičasto zapečeno tlo. Arheološki terenski zapis i tip zgure pronađene *in situ*, svjedoči o tehnološkom rješenju i dizajnu peći. Radi se o

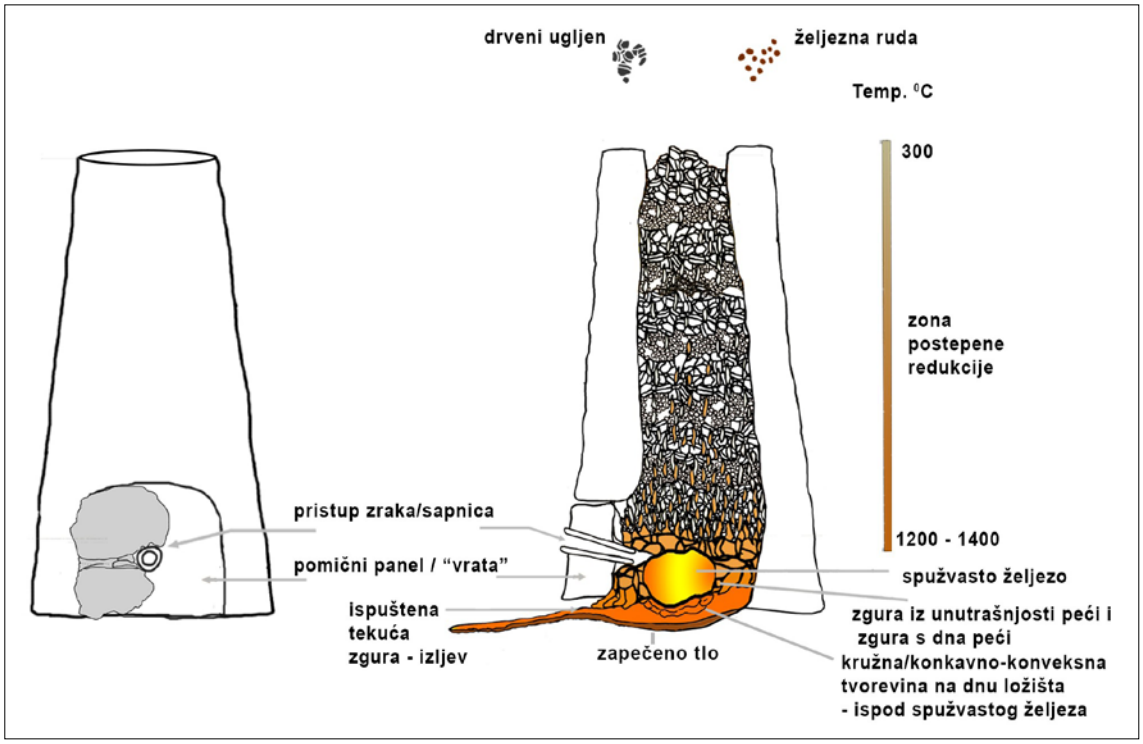


Slika 2. Hlebine-Velike Hlebine. Tlocrt talioničkih peći I, II, III, IV u Sondi 1 (snimila i nacrtala: K. Turkalj, digitalna obrada: T. Karavidović) (nadopunjeno prema: Sekelj Ivančan, Karavidović 2021)



Slika 3. Stijenka pomičnog panela s otvorom u koji je bila umetnuta sapnica, lokalitet Velike Hlebine (SJ 113, N 270/10). Panel je izgrađen od više dijelova, tragovi spajanja vidljivi na prednjoj strani. Unutarnja stijenka znatno je vitrificirana i djelomično otopljena, a uočljivi su i tragovi željezne zgure prilijepljene uz stijenku (fotografija i digitalna obrada: T. Karavidović)

pećima sa samostojećom nadzemnom konstrukcijom i plitkim ognjištem kod kojih je zgura ispuštena u tijeku ili potkraj postupka, tzv. peći »na istek« (sl. 4). Nadzemne konstrukcije peći nisu očuvane, no nalazi glinenih stijenki peći svjedoče da su peći na prednjem dijelu imale zamjenjivi panel, svojevrsna vrata u koja je bila umetnuta sapnica (sl. 3, 4). Vrata su vjerojatno bila smještena neposredno iznad (ili s blagim odmakom) otvora pri dnu ognjišta, kroz koji je ispuštena tekuća zgura. Sapnica je omogućavala dovod zraka, neophodan za sagorijevanje ugljena i stvaranje potrebne temperature za redukciju željezne rude (sl. 4). Dovod zraka bio je omogućen putem mjehova koji su u potpunosti izostali iz arheološkog zapisa što je moguće pripisati prirodi materijala od kojeg su bili načinjeni, organskog podrijetla. Pri kraju procesa taljenja, panel je mogao biti uklonjen kako bi se pristupilo unutrašnjosti



Slika 4. Rekonstrukcija talioničke peći, procesa taljenja, nastalog otpada i poluproizvoda – prednji i bočni (presjek) prikaz. Rekonstruirano prema arheološkom zapisu s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine (usp. Slike 2 i 3) (izradila: T. Karavidović)

peći i izvadilo nastalo spužvasto željezo. Ovakva konstrukcija peći, omogućava višestruku upotrebu iste peći uz zamjenu prednjeg panela sa sapnicom pri svakom postupku. Arheološki terenski zapis s lokaliteta Hlebine - Velike Hlebine pružio je dokaze o višestrukim pećima (također u paru), izgrađenima gotovo u istim prostornim gabaritima, što je razvidno iz stratigrafskih odnosa ostataka peći. Iz potonjih su razvidne ranije strukture ognjišta i tragovi istjecanja zgure (peći I i IV), presječeni naknadnom izgradnjom peći u kojima je očuvan i zapis posljednjeg talioničkog postupka (peći III i II) (sl. 2).

Primjeri veoma sličnih peći, nešto šireg unutrašnjeg promjera ložišta (37-42 cm), pronađeni su na lokalitetu Virje – Volarski breg (Sonda 1), gdje su istraživanjima zabilježena po dva para peći, sličnih međusobnih pozicija, te još jedna peć kojoj par, zbog slabe očuvanosti svih nepokretnih nalaza na ovom lokalitetu, nije ustanovljen (Sekelj Ivančan 2009; 2014). I kod ovih su peći u arheološkom zapisu zabilježeni ostaci posljednjeg talioničkog postupka u vidu zgure s dna ložišta peći i pozicija ispuštene tekuće zgure u kanaliću *in situ*, nakon čijeg je uklanjanja zabilježena plavičasto zapečeno dno ložišta i trag istjecanja tekuće zgure ispred ložišta peći, odnosno zapis postupka taljenja i ostataka talioničke peći.

Postredukcijski postupci i poluproizvodi

Postredukcijski postupci kompaktiranja ili djelomičnog pročišćavanja spužvastog željeza (primarno kovanje) posvjedočeni su također na lokalitetima Hlebine – Velike Hlebine, Virje – Sušine te Volarski breg putem karakterističnih oblika zgure (Sekelj Ivančan, Karavidović 2021) te svjedoče o primarnoj, iako ograničenoj razini postredukcijske obrade željeznog (polu)proizvoda neposredno nakon talioničkih postupaka. Višestruki oblici zgure mogu se pripisati postredukcijskim postupcima, među kojima su najkarakterističnije tzv. kovačke pogače. Riječ je o kompaktnim komadima zgure, najčešće nepravilne površinske strukture, često s tragovima sitnih otisaka ugljena na donjoj plohi. Oblikom mogu biti kružne, polukružne, pravilne ili izdužene u tlocrtu, dok su u presjeku nepravilne, plano-konveksne ili konkavno-konveksne. Ovaj tip zgure nastaje u postredukcijskom ognjištu – instalaciji u kojoj se spužvasto željezo zagrijava, a zatim na kovačkoj podlozi mehanički sabija. Tijekom tog procesa dolazi do ocjeđivanja zgure unutar ognjišta, kao i do njezina mehaničkog izbijanja na nakovnju, čime se ujedno smanjuje poroznost materijala.

Postredukcijska zgura zabilježena je i kao površinski nalaz na 104 lokaliteta istraženog područja. Pojavljuje se uz nalaze koji upućuju na talioničke postupke na istom lokalitetu, ali i u prostornoj vezi s površinskim nalazima iz različitih arheoloških razdoblja, koji se mogu povezati s naseobinskim tipom lokaliteta (poput keramičkih posuda i utilitarnih predmeta; oko 30 lokacija) (sl. 1). Željezni poluproizvodi dosad nisu zabilježeni na istraženim lokalitetima, što se može objasniti njihovom funkcijom kao specijaliziranih proizvodnih mjesta usmjerenih na izradu poluproizvoda namijenjenih daljnjoj distribuciji i obradi.

Kako bi se analizirala potencijalna svojstva poluproizvoda i kapaciteti talioničkih peći i vrste postredukcijske obrade, izveden je niz eksperimentalnih testiranja, uz komparativnu analizu arheoloških zapisa (Karavidović 2020; 2021; Karavidović, Thiele 2026; Thiele, Karavidović 2026). Putem eksperimentalnih testiranja pretpostavljeni su proizvodni kapaciteti definiranog tipa peći (količina i volumen poluproizvoda) naspram varijabli u dizajnu peći (primarno dimenzija ložišta, položaj sapnice) (Karavidović, Thiele 2026) te su izmjereni težinski omjeri između željeznog poluproizvoda dobivenog direktnim postupkom redukcije, nastale zgure i količine izvorišne, lokalne sirovine – močvarne rude (Karavidović 2020; Karavidović, Thiele 2026). Ovim eksperimentalnim testiranjima omogućena su dva moguća smjera rekonstrukcije svojstava potencijalnih poluproizvoda: 1) putem prediktivnih analiza na temelju dizajna peći i 2) izračunom putem arheološkog tehnološkog otpada – željezne zgure.

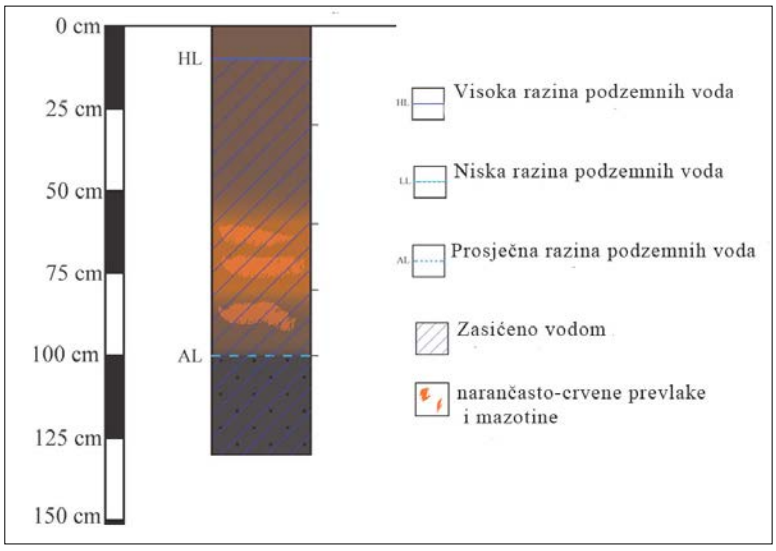
U POTRAZI ZA SIROVINOM – MOČVARNA ŽELJEZNA RUDA

Jedno od pitanja koja su se javljala tijekom istraživanja, možda i najvažnije, bilo je pitanje izvorišta rudne sirovine. Na samom početku ovih istraživanja, 2010-ih godina, iznesena su neka promišljanja koja su obuhvaćala dvije glavne pretpostavke. S jedne strane da se željezna ruda u radionicu možda dopremala iz udaljenijih krajeva, prostora na kojima su rudni izvori geološki i arheološki do tada pre-

poznati, s pretpostavkom da je u vremenima kada je tada istražena radionica na lokalitetu Virje – Volarski breg datirana (8. i 9. stoljeće) (Botić 2021) bila moguća određena kontrola nad sirovinama, u našem primjeru željeznom rudom, njenom obradom i distribucijom u ovim krajevima (Sekelj Ivančan 2010: 39–40, bilj. 12). Ona se činila vjerojatnom i zbog pretpostavljenih cestovnih pravaca, kao i prirodnih riječnih komunikacija, koji su povezivali zapad i istok i, s obližnjim prijelazom preko rijeke Drave poznatim iz kasnijih povijesnih izvora (Petrić 1992: 42; 1999: 251, 253), moguće povezivali sjever i jug, odnosno područje s desne obale Drave s područjem Transdanubije kao potencijalnom lokacijom izvora željezne rude.

S druge strane, pretpostavljalo se da je željezna ruda, iako do tada nepoznata, moguće lokalnog – regionalnog podrijetla (Sekelj Ivančan 2010: 39–40, bilj. 11) te da se eksploatirala u blizini samih mjesta prerade, što se, zbog veličine radionice na Volarskom bregu i količine u istraživanjima prikupljene zgure, činilo tada manje vjerojatno. No, u nastavku istraživanja željezarstva u Podravini ta se pretpostavka, modificirana i nadopunjena novim rezultatima istraživanja, pokazala ispravnom.[2] Naime, provedeno je uzorkovanje tla na više mjesta u Podravini (ukupno 44 profila), pretežito u okolici položaja gdje su zamijećeni površinski nalazi talioničke zgure, ili u blizini nekih arheološki istraženih lokaliteta (Virje, Hlebine). Sumirajući spoznaje o geološkim, pedološkima i hidrološkim značajkama područja Podravine, provedena je geokemijska i mineraloška analiza najiskazljivijih uzoraka tla (ukupno 6 profila). Rezultati su pokazali da su u vlažnim nizinskim okruženjima, poput glinovitih i aluvijalnih tala, uz prisutnost podzemne vode zasićene željezom relativno blizu površine, kakvo je područje (Gornje) Podravine, stvoreni pogodni uvjeti za nastanak močvarne željezne rude. Profil koji je imao najveći udio Fe_2O_3 (31,52 tež. %) u svom sadržaju, u intervalu dubine od 60 do 80 cm, uzorkovan je na lokalitetu Kalinovac – Hrastova greda (sl. 5) te je zaključeno kako se u ovom slučaju radi o početnoj, prvoj, tzv. »mekoj« fazi formiranja željezne rude tj. močvarnom tlu obogaćenom željezom (Brenko et al. 2020: 21, 26–27, Tab. 5; Karavidović, Brenko 2022).

Kako je nakon završetka radova na plinovodu u okolici Novigrada Podravskog na položaju Milakov berek/Slivnica na površini oranica 2016. godine pronađeno nekoliko grumena u cijelosti formirane močvarne željezne rude, daljnja su istraživanja bila usmjerena na pronalazak potencijalnih ležišta, analizu formiranja močvarnih ruda u ovom krajoliku te usporedbu s arheološkim nalazima rude s istraženih



Slika 5. Grafički prikaz profila tla s položaja lokaliteta Kalinovac – Hrastova greda. Na intervalu dubine 60-80 cm utvrđen je najviši sadržaj željeza koje je prisutno u manjoj mjeri i u intervalu 80-100 cm, označavajući zonu početne faze razvoja močvarne rude – meku fazu (preuzeto i modificirano prema: Brenko et al. 2020, sl. 3; Karavidović, Brenko 2022, sl. 2)

[2] Ta je pretpostavka bila javno iznesena na konferenciji *Đurđevački pijesci: geneza, stanje i perspektive*, u organizaciji Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad Koprivničko-križevačke županije u Križevcima, održanoj 29. i 30. lipnja 2017.g. u Đurđevcu, kojom prigodom je prof. dr. sc. Dragutin Feletar izrazio želju da se o željeznoj rudi u Podravini pripremi rad za časopis *Podravina, Časopis za multidisciplinarna istraživanja*. Zahvaljujemo akademiku D. Feletaru (pok.) na pozivu i nadamo se da smo ovim radom ispunili obećano.

lokaliteta. Tako su se daljnja istraživanja fokusirala na lokacije s kojih potječu uzorci različitih faza formiranja močvarne željezne rude (analizirano je 15 uzoraka) i lokacije arheoloških nalazišta gdje su u iskopavanjima pronađeni ulomci močvarne željezne rude i/ili termički prerađene - pržene močvarne željezne rude (analizirano je 13 uzoraka) (sl. 1) (Brenko et al. 2021). Prepoznate su faze razvoja, od tzv. meke faze - željezom obogaćenog sloja tla (sl. 5, 6a), preko sekundarne razvojne faze koja se očituje kao kugličaste tvorevine ili noduli željeznih (oksi)hidroksida, getita (sl. 6c) te u konačnici, treća i posljednja faza razvoja koju karakterizira okrupnjeni u potpunosti formirani sloj močvarne željezne rude (sl. 6b, d), a čije je postojanje u slučaju podravskog krajolika pretpostavljeno putem pronalaska fragmenata (grumenja) na površini tla i arheoloških nalaza ruda (Brenko et al. 2020). Kemijska je analiza potvrdila visok sadržaj FeO u fragmentima močvarnih željeznih ruda (do 70,89 mas.%) pronađenih pri terenskim uzorkovanjima i prerađenim, prženim željeznim rudama iz arheološkog konteksta (do 84,97 mas.%), što svjedoči o njihovoj tehnološkoj iskoristivosti u arheološkim razdobljima (Karavidović, Brenko 2022), kada je primjenjivana metoda direktne redukcije za ekstrakciju željeza iz ruda. Rezultati analize glavnih elemenata, elemenata u tragovima i elemenata rijetkih zemalja između razvojnih faza ruda i arheoloških uzoraka rude te zgure otkrili su geokemijski obrazac, te potvrdili da su analizirani geološki i arheološki uzorci istog, regionalnog podrijetla, odnosno da su ulomci močvarne željezne rude pronađeni u arheološkom kontekstu, lokalno eksploatirani kao izvor sirovine u proizvodnji željeza tijekom kasne antike i ranoga srednjeg vijeka (Brenko et al. 2021).

U nastavku istraživanja i u potrazi za močvarnom željeznom rudom u suvremenom krajoliku Podravine, na nekoliko je lokacija provedeno geofizičko istraživanje ne bi li se putem neinvazivnih metoda pokušalo locirati mjesta s razvijenim, čvrstim rudnim ležištem. Prvenstveno je fokus bio na lokalitetu Novigrad Podravski – Milakov berek (Slivnice), na kojem su, uslijed recentnih zahvata u tlu, površinski zabilježeni fragmenti rude (razoreni depozit), ali i na drugim lokacijama u krajoliku za koje se pretpostavljalo da imaju potencijal za formiranje depozita. Primijenjene su dvije metode i to magnetska metoda na gradientan način, a potom je, na temelju dobivenih rezultata magnetometrije, za provjeravanje oblika magnetskih anomalnih slojeva, primijenjena metoda 2D geoelektrične tomografije različitih elektrodnih konfiguracija (ERT - *electrical resistivity tomography* // metoda tomografije električnog otpora) na ukupno 13 profila, no bez konkretnih rezultata (Medarič, Horn 2018).



Slika 6. Položaj Kalinovac – Hrastova greda: a) izorano površinsko tlo (duboko oranje) s vidljivim zonama snažnije crvenog tla (viši udio željeza) prisutnim na rubovima depresija i u njima. Oranjem je djelomično sloj prebačen na površinu, a potječe iz dubljih intervala (vidi sl. 5) – prva razvojna faza rude; b) ostaci plugom oštećene leće močvarne željezne rude; c) globularne konkrecije/noduli – druga razvojna faza močvarne željezne rude; d) fragmenti močvarne rude izdvojeni iz plugom oštećene leće – treća razvojna faza rude

Ipak, ranije ustanovljen potencijal profila s lokaliteta Kalinovac – Hrastova greda bio je poticaj za primjenu detaljnih terenskih geoarheoloških pregleda i uzorkovanja tla. Ovim su istraživanjima dokumentirane sve tri razvojne faze formiranja močvarne željezne rude (Karavidović, Brenko 2022), čime ova lokacija predstavlja jedini zasad potvrđeni primjer na području Podravine s dokazanim potencijalom razvoja rude kroz sve tri faze, kao i postojanjem formiranog ležišta, u recentnom razdoblju (sl. 6). Naime, prve su dvije faze razvoja bile zabilježene na više lokaliteta (Brenko et al. 2020), no posljednja faza razvoja močvarne željezne rude evidentirana je, osim na razorenom depozitu na Milakovom bereku, jedino na ovoj lokaciji. Ležište je otkriveno uslijed razaranja depozita poljoprivrednim radovima, na dubini od 10 do 15 cm ispod površine (sl. 6b), nakon čega je, kako bi se definiralo rasprostiranje ovog sloja/leće, otvorena manja sonda do dubine od 100 cm. Odmah ispod oranog sloja, na dubini od 50 do 70 cm zamijećen je sloj lećastog presjeka, od 5 do 20 cm debljine, koji se sastojao od tla s vidljivim željezovitim mazotinama te sitnim čvrstim željezovitim globularnim konkrecijama/nodulama. Zaključeno je da taj sloj predstavlja najdonji dio depozita iznad kojeg je bio čvršće formirani sloj močvarne željezne rude razoren dubokim oranjem. O kvaliteti i iskoristivosti rude u arheološkim razdobljima podatke je pružilo i eksperimentalno testiranje prikupljene kalinovačke rude (150 kg) u talioničkom postupku koje je rezultiralo zaključkom kako ruda iz ovog depozita nije bila pogodna za taljenje direktnom redukcijom, zbog nižeg udjela željeznih oksida i značajnog udjela jalovine. Ruda s lokaliteta Kalinovac – Hrastova greda predstavlja neoformaciju i to sam početak formiranja čvrstog sloja močvarne željezne rude tj. početak treće faze formiranja sloja (Karavidović, Brenko 2022). Eksperiment je ukazao na minimalni sadržaj FeO potreban za učinkovitu redukcijsku ekstrakciju željeza te, u kombinaciji s analizom ostalih uzoraka, na geokemijsku varijabilnost močvarnih ruda iz različitih ležišta, u rasponu od ruda niskog sadržaja željeza i visokog udjela jalovine do ruda s većim udjelom željezne komponente. Potonja istraživanja pružila su podatke o mehanizmima formiranja, fizionomiji i lokacijama ležišta ali i mogućnosti (neo)formacije i/ili obnove depozita močvarnih željeznih ruda. U kontekstu analize antropogenog utjecaja na okoliš, istraživanja su ukazala na potencijalni inhibicijski i destruktivni učinak ljudskih aktivnosti tijekom prethodnih stoljeća na razvoj i održivost depozita močvarne željezne rude u krajoliku. Melioracijski zahvati, eksploatacija rude i klimatske promjene mogu djelovati kao ključni čimbenici u inhibiciji formiranja i degradaciji ležišta močvarnih željeznih ruda, ponajprije kroz izmjene hidroloških uvjeta i stabilnosti vlažnih tala. Promjene razine podzemnih voda, smanjena zasićenost tla vlagom te narušavanje mikroreljefnih depresija u kojima se ruda formira izravno mogu utjecati na prekid procesa taloženja željeznih oksihidroksida i onemogućiti daljnji razvoj ležišta. Istodobno, intenzivna poljoprivredna djelatnost, osobito duboko oranje i dugotrajna obrada tla, dovodi do mehaničkog razaranja rudnih slojeva, njihove dislokacije iz primarnog konteksta i postupne degradacije depozita (sl. 6). U širem prostornom i povijesnom kontekstu Podravine, transformacije riječnog sustava i krajolika (Slukan-Altić 2002) dodatno su mogle pojačati ove procese, ukazujući na kumulativni učinak antropogenih intervencija – od promjena vodnog režima, deforestacije i agrarne eksploatacije – na inhibiciju ili usporavanje razvoja i očuvanja močvarnih željeznih ruda.

S obzirom na to da je karakter ležišta na lokalitetu Kalinovac – Hrastova greda, analiziran putem fizičkih parametara i prediktivnih geoprostornih modela, pokazao kako su procesi formiranja močvarne željezne rude u suvremenom prostoru Podravine na pojedinim mjestima još uvijek aktivni (Karavidović, Brenko 2022), u sljedećem je koraku ove studije slučaja provedeno dodatno istraživanje. U tom su kontekstu analizirana svojstva površinskog sloja tla (67 uzoraka) te geokemijski pokazatelji unutar geoarheološkog okruženja u kojem se odvijala proizvodnja željeza u ovom nizinskom krajoliku. Cilj je bio definiranje i potom jasno razlikovanje pedogenih markera povezanih s potencijalom razvoja i postojanjem podpovršinskih depozita močvarne željezne rude od markera antropogene aktivnosti povezanih s proizvodnjom željeza. Predloženi model pružio je relevantne podatke na temelju geokemijskih indikatora, prvenstveno za prepoznavanje mjesta pogodnih za stvaranje močvarne željezne rude ispod razine površinskog sloja tla, bez iskopavanja samog ležišta, ali i podpovršinskih arheoloških zapisa vezanih uz proizvodnju željeza (Karavidović et al. 2025).

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U proteklih petnaestak godina istraživanja, naše su se spoznaje o proizvodnji željeza u Podravini uvelike proširile - od slučajnih površinskih nalaza prikupljenih od strane amatera-zaljubljenika u starine pa sve do konkretnih arheoloških dokaza o postojanju ove gospodarske djelatnosti u vremenu kasne antike i ranoga srednjeg vijeka. Zajednice koje naseljavaju ovaj prostor u vremenu kasne antike i ranoga srednjeg vijeka prepoznale su resurse u krajoliku, prvenstveno močvarnu željeznu rudu i dovoljnu količinu drva za proizvodnju ugljena kao neophodnog gorivog elementa u pećima (Botić, Culiberg 2021), koji su joj omogućili upravo ovu gospodarsku djelatnost. Vremenski okviri ove proizvodnje zasad upućuju na razdoblje od kraja 4./5. do 9. stoljeća, iako ranija i kasnija proizvodnja ne mogu biti isključene te predstavljaju značajan potencijal za buduća istraživanja, uključujući i pitanje društvenih i kulturnih preduvjeta koji su potaknuli razvoj, prema svemu dosad poznatom, šire regionalne proizvodnje.

Proizvodnja željeza u Podravini odvijala se, tijekom ranog srednjeg vijeka, u manjim talioničkim pećima, plitko ukopanog ložišta, unutarnjeg promjera od 26-30 cm (Hlebine – Velike Hlebine, 6./7. st.) do 38-42 cm (Virje – Volarski breg, 8./9. st.), sa slobodnostojećom nadzemnom konstrukcijom načinjenom od gline, te svojevrsnim panelom s umetnutom sapnicom kroz koju je osiguran dovod zraka. Zgura nastala pri procesu taljenja djelomično je ispuštena, u tekućem stanju, izvan peći tijekom i/ili potkraj procesa. Panel bi bio odstranjen po završetku procesa, kako bi se moglo pristupiti spužvastom željezu. Upravo zbog potonjeg dizajna peći, one su mogle biti korištene višestruko. Stratigrafski podaci vezani uz arheološki zapis peći s lokaliteta Hlebine – Velike Hlebine svjedoče i o postojanju višestrukih peći, sukcesivno izgrađenih na istom položaju.

Istraživanja su pokazala da je željezna ruda u Podravini bila lokalnog podrijetla, pri čemu je putem geoarheoloških, geokemijskih i mineraloških analiza identificirana i okarakterizirana močvarna željezna ruda te njezine razvojne faze, čime su značajno unaprijeđena saznanja o sirovinskoj osnovi proizvodnje željeza. Istodobno je primjena integriranog metodološkog pristupa – od sustavnog uzorkovanja tla i laboratorijskih analiza do geofizičkih istraživanja, eksperimentalne arheometalurgije i prediktivnih prostornih analiza – omogućila razvoj modela za prepoznavanje ležišta i razlikovanje prirodnih i antropogenih markera u krajoliku.

Proizvodnja (i obrada) željeza na području (Gornje) Podravine, dokazana u posljednjih petnaest godina istraživanja, bazira se, kako je vidljivo iz dosadašnjeg istraživanja, na simbiozi više prirodnih, društveno-ekonomskih i tehnoloških čimbenika. Do kuda prostorno sežu proizvodne aktivnosti nizvodno niz rijeku Dravu, postoje li iste ili slične prirodne okolnosti i sirovine te arheološki nalazi i u drugim nizinskim krajevima, primjerice slivovima Save ili Kupe, ili drugim krajevima i prirodnim okruženjima, naznake koje se tek naslućuju (Sekelj Ivančan 2023), predmetom su daljnjih istraživanja željezarstva na području Republike Hrvatske. Suvremena istraživanja fenomena željezarstva u Podravini usmjerena su na detaljnu rekonstrukciju tehnologije proizvodnje željeza (Thiele, Karavidović 2026) te karakteristika proizvodnog sustava u širem regionalnom prostornom, socio-ekonomskom i kulturnom kontekstu (Karavidović, Thiele 2026).

U tom se smislu buduća istraživanja usmjeravaju na integraciju geoarheoloških, arheometalurških i prostorno-analitičkih pristupa, s ciljem preciznijeg modeliranja proizvodnih sustava i njihove uloge u regionalnim društveno-ekonomskim mrežama.

Napomena: Ovaj članak nastao je kao rezultat rada na istraživačkom projektu pod naslovom *Kulturni krajolici metalurgije željeza u slivu rijeke Save i Drave tijekom antike i ranoga srednjega vijeka*, akronima KulturFER (IP-2022-10-1846), kojeg financira Hrvatska zaklada za znanost (2023. – 2027.).

LITERATURA

1. Alečković, M. 1996a, Noviji arheološki nalazi iz Hlebinskog dijela Podravine, *Podravski zbornik* 22, 279–286.
2. Alečković, M. 1996b, Noviji arheološki nalazi u Hlebinama i užoj okolici, *Hlebine u srcu, Hlebinski almanah* 2, 13–18.
3. Botić, K. 2021, Absolute dating of Virje and Hlebine sites, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia: The TransFER Project*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds.), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 92–100.

4. Botić, K., Culiberg, M. 2021, Anthracological analysis of samples from four sites with smelting activity around Virje and Hlebine, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia: The TransFER Project*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds.), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 194–211.
5. Brenko, T., Borojević Šoštarić, S., Ružičić, S., Sekelj Ivančan T. 2020, Evidence for the formation of bog iron ore in soils of the Podravina region, NE Croatia: Geochemical and mineralogical study, *Quaternary International* 536, 13–29. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.11.033
6. Brenko, T., Borojević Šoštarić, S., Karavidović, T., Ružičić, S., Sekelj Ivančan, T. 2021, Geochemical and mineralogical correlations between the bog iron ores and roasted iron ores of the Podravina region, Croatia, *Catena* 204. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105353
7. Karavidović, T. 2020, Rekonstrukcija postupka prženja željezne rude: eksperimentalni pristup. in: *Aktuelna interdisciplinarna istraživanja tehnologije u arheologiji Jugoistočne Evrope, Zbornik radova Prvog skupa Sekcije za arheometriju, arheotehnologiju, geoarheologiju i eksperimentalnu arheologiju Srpskog arheološkog društva,* Vitezović, S., Šarić, K., Antonović, D. (eds.), Beograd, 130–137.
8. Karavidović, T. 2021, Methodological Framework for Experiments Related to Bloomery Iron Production Procedures: Ore Preparation and Smelting, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia: The TransFER Project,* Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds.), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 233–247.
9. Karavidović, T., Brenko, T. 2022, Karakter ležišta i svojstva močvarne željezne rude na položaju Kalinovac – Hrastova greda: model za analizu ekspolatacije i upotrebe ruda u arheološkim razdobljima / Nature of the deposit and properties of bog iron ore at the Kalinovac – Hrastova Greda: a model for the analysis of ore exploitation and use in archaeological periods*, Prilozi Instituta za arheologiju u Zagrebu*, Vol. 39/2, 219–261. https://doi.org/10.33254/piaz.39.2.10
10. Karavidović, T., Brenko, T., Borojević Šoštarić, S., Sekelj Ivančan, T. 2025, Topsoil properties and geochemical indicators of past iron production environment in a lowland landscape – case study of the Kalinovac – Hrastova Greda site, NW Croatia*, Archaeological and Anthropological Sciences* 17:214. https://doi.org/10.1007/s12520-025-02331-2
11. Karavidović, T., Thiele, A. 2026, Technology and socio-economic implications of massive iron bloom production in the Early Middle Ages within Carpathian basin - smelting and diffusion welding, *Archeologické rozhledy* (in press).
12. Medarič, I., Horn, B. 2018, *Izvješće o geofizičkim istraživanjima na lokalcijama Slivnice i Sušine kod Virja i Dedanovice kod Hlebina*, neobjavljen rukopis, Institut za arheologiju, Zagreb.
13. Mušič, B., Horn, B., Sekelj Ivančan, T. 2021, Results of magnetic prospection in connection with the archaeological excavation finds of Late Antique and Early Mediaeval iron production sites Velike Hlebine and Dedanovice in the Podravina region, Croatia, in: *Secrets of iron - from raw material to an iron object*, *Proceedings of the 7th International Scientific Conference on Mediaeval Archaeology of the Institute of Archaeology*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T., Tkalčec, T., Krznar, S., Belaj, J. (eds), Serta Instituti Archaeologici 20, Zagreb, Institut za arheologiju, 39–50.
14. NASA JPL 2013, NASA Jet Propultion Laboratory, *NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second* [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center [https://lpdaac.usgs.gov/products/srtmgl1v003/], accessed May 7th 2023).
15. Petrić, H. 1992, Srednjovjekovni putevi u Podravini, *Podravski zbornik* 18, 41–46.
16. Petrić, H. 1999, Povijesno-geografski razvitak Molvi u srednjem vijeku, *Podravski zbornik* 24/25 (1989/1999), 251–257.
17. Pleiner, R. 2000, *Iron in archaeology: The European Bloomery Smelters,* Praha 2000.
18. Sekelj Ivančan, T. 2001, *Early Medieval Pottery in Northern Croatia. Typological and chronological pottery analyses as indicators of the settlement of the territory between the rivers Drava and Sava from the 10th to the 13th centuries AD*, BAR International Series 914, Oxford 2001.
19. Sekelj Ivančan, T. 2007, Novi površinski nalazi s lokaliteta Virje – Volarski breg, *Obavijesti Hrvatskog arheološkog društva,* god. XXXIX, br. 3, 73–79.
20. Sekelj Ivančan, T. 2009, Arheološka istraživanja ranosrednjovjekovne radionice za preradu željezne rudače na lokalitetu Virje – Volarski breg, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. V, 65–70.
21. Sekelj Ivančan, T. 2010, Talionička djelatnost u okolici Molva u ranom srednjem vijeku, in: *Zbornik radova sa znanstvenog skupa Molve – ljudi, selo i okoliš u dugom trajanju (1658. – 2008.) u povodu 350-te obljetnice osnivanja današnjeg sela Molve*, *Bibliotheca Scientiae Molvensis*, knjiga 2, Kolar, M., Petrić, H. (eds), Općina Molve, Molve, 30–45.

22. Sekelj Ivančan, T. 2013, Nastavak arheoloških istraživanja na položajima Volarski breg i Sušine kraj Virja u 2012. godini, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. IX, 48–54.
23. Sekelj Ivančan, T. 2014, Pregled dosadašnjih arheoloških istraživanja na lokalitetu Virje – Volarski breg/Sušine, *Podravski zbornik* 40, 158–166.
24. Sekelj Ivančan, T. 2016, Predindustrijska obrada željeza: pokazatelji talioničke djelatnosti na primjeru arheoloških nalazišta u Podravini, *Podravina*, *Časopis za multidisciplinarna istraživanja*, Vol. XV/29, 118–125.
25. Sekelj Ivančan, T. 2019, Arheološka istraživanja lokaliteta Hlebine – Dedanovice, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XV, 129–135.
26. Sekelj Ivančan, T. 2023, Arheološki tragovi prerade željezne rude na prostoru kontinentalne Hrvatske, *Izdanja Hrvatskog arheološkog društva*, Vol. 32/1 (2018), 353–362.
27. Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. 2021, Archaeological Record of Iron Metallurgy Along the Drava River, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia: The TransFER Project*, Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds.), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 43–91.
28. Sekelj Ivančan, T., Mušič, B. 2014, Geofizička i arheološka istraživanja na nalazištu Virje – talioničkoj radionici iz vremena kasne antike i ranog srednjeg vijeka, *Starohrvatska prosvjeta*, III. ser. sv. 41, 177–183.
29. Sekelj Ivančan, T., Valent, I. 2017, Ostaci talioničke radionice na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine, *Annales Instituti Archaeologici*, Vol. XIII, 73–76.
30. Valent, I. 2018, Rekognosciranja Muzeja grada Koprivnice u 2017. godini, *Podravski zbornik* 44, 77–98.
31. Slukan-Altić, M. 2002, Hidroregulacije Drave i njezini utjecaji na transformaciju prirodnog i kulturnog pejsaža Podravine, *Podravina, Časopis za multidisciplinarna istraživanja,* Vol. 1(2), 128–152.
32. Thiele, A., Karavidović, T. 2026, Density-Based Classification and Iron Content Estimation of Bloomery Iron Semi-Products: An Experimental Approach to Post-Reduction Technological Characterization, *Archeometriai Műhely*, Vol. XXIII/I, 37–60. DOI: 10.55023/issn.1786-271X.2026-003.
33. Valent, I., Tkalčec, T., Krznar, S. 2021, Methodological Approach to Detecting Archaeological Sites with Metallurgical Activities on the Territory of the River Drava Basin and the Possibilities of Analysing the Collected Information, in: *Interdisciplinary Research into Iron Metallurgy along the Drava River in Croatia: The TransFER Project,* Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T. (eds.), Archaeopress Publishing Ltd., Oxford, 1–17.
34. Valent, I., Krznar, S., Tkalčec, T. 2019, Novi arheološki lokaliteti s metalurškom djelatnošću na prostoru Podravine, *Podravina, Časopis za multidisciplinarna istraživanja*, Vol. XVIII/35, 5–25.
35. Valent, I., Krznar. S., Tkalčec, T., Sekelj Ivančan, T. 2018, Terenski pregled koprivničke i đurđevačke Podravine, Annales Instituti Archaeologici, Vol. XIV, 142–147.
36. Valent, I., Zvijerac, I., Sekelj Ivančan, T. 2017, Topografija arheoloških lokaliteta s talioničkom djelatnošću na prostoru Podravine, *Podravina, Časopis za multidisciplinarna istraživanja*, Vol. XVI/32, 5–25.

SUMMARY

This paper provides an overview of research conducted to date on iron production in Podravina during Late Antiquity and the Early Middle Ages, with particular emphasis on methodological approaches, the technological characteristics of production as evidenced by the archaeological field record, and the provenance of raw materials. The research included systematic field surveys, geophysical prospection, targeted archaeological excavations, and geoarchaeological, geochemical, and mineralogical analyses. Surface finds of slag, fragments of clay furnace walls, and ceramic tuyères have enabled the identification of numerous sites associated with iron production and primary ironworking, while geophysical investigations have allowed for the more precise location of subsurface remains of furnaces and metallurgical waste. Archaeological evidence from the sites of Virje–Volarski breg, Sušine, and Hlebine–Velike Hlebine indicates that iron was produced by means of direct reduction in small smelting furnaces, with additional evidence for the post-reduction processing of semi-finished products. A particularly important outcome of the research is the confirmation of the local origin of the raw material, namely the exploitation of bog iron ore. By integrating landscape archaeology, archaeometallurgy, and geoarchaeology, the paper provides insights into the technological, economic, and environmental aspects of iron production in Podravina.